

EP 00 / 5210  
EV

REC'D 25 JUL 2000  
WIPO PCT



10/019336

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 199 27 823.7

**Anmeldetag:** 18. Juni 1999

**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Elektromagnetischer Aktuator und Verfahren zur  
Justierung des elektromagnetischen Aktuators

**IPC:** H 01 F und F 01 L

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Anmeldung.

München, den 28. Juni 2000  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Hoiß

Heilbronn, den 26.04.1999  
FTP/H-Si-DAIM28387

5

Beschreibung

Elektromagnetischer Aktuator und Verfahren zur Justierung des elektromagnetischen Aktuators

10

Die Erfindung betrifft einen elektromagnetischen Aktuator gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und ein Verfahren zum Justieren eines elektromagnetischen Aktuators gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 6.

15

Aus der DE 196 31 909 A1 ist ein elektromagnetischer Aktuator zur Betätigung eines Gaswechselventils in einer Brennkraftmaschine bekannt. Der Aktuator umfaßt zwei im Abstand zueinander angeordnete Elektromagnete und einen mit dem Gaswechselventil in Wirkverbindung stehenden Anker, der durch Magnetkraft zwischen den Elektromagneten gegen die Kraft zweier gegeneinander wirkender Federn hin- und herbewegbar ist. Der Aktuator weist ferner Stellmittel auf mit denen die Lage des Ankers bei stromlosen Elektromagneten auf die geometrische Mittellage zwischen den beiden Endpositionen des Ankers eingestellt wird. Als nachteilig erweist sich hierbei die hohe Abhängigkeit des Energiebedarfs des Aktuators von Fertigungstoleranzen.

20

25

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen elektromagnetischen Aktuator gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 anzugeben, dessen Energiebedarf von Fertigungstoleranzen wenig abhängt. Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 6 anzugeben, durch das die Abhängigkeit des Energiebedarfs des Aktuators von Fertigungstoleranzen minimiert wird.

Die Aufgabe wird bei einem elektromagnetischen Aktuator gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs

1 und bei einem Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 6 durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 6 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

5 Erfindungsgemäß sind die Federn derart vorgespannt, daß bei einer Komprimierung der Federn um jeweils einen durch den begrenzten Hubweg des Ankers vorgegebenen Federweg in beiden Federn die gleiche Energie gespeichert wird. Hierdurch erreicht man, daß der Anker, wenn er aus seinen beiden Endpositionen losgelassen wird und frei schwingt, sich den beiden Elektromagneten gleich weit nähert. Infolgedessen wird der Einfluß fertigungsbedingter Toleranzen der Bauteile, insbesondere  
10 der Federn, auf das Schwingverhalten des Ankers reduziert. Zudem wird der Gesamtenergiebedarf des Aktuators optimiert, da beide Elektromagnete aufgrund des sich ihnen gleich weit nähernden Ankers den gleichen Strombedarf aufweisen. Würde der Anker sich nämlich beim freien Schwingen dem einen Elektromagneten stärker nähern als dem anderen, dann würde der Strombedarf des einen Elektromagneten zwar um einen bestimmten Betrag sinken, der Strombedarf des anderen Elektromagneten würde aber um ein Vielfaches dieses Betrags ansteigen, so daß auch der Gesamtenergiebedarf des Aktuators gegenüber dem optimalen Wert ansteigen würde.  
15

20 Vorzugsweise weist mindestens eine der Federn eine nichtlineare Federkennlinie, vorteilhafterweise eine Kennlinie mit einem Maximalwert bei einer zwischen den Elektromagneten liegenden Position des Ankers, auf. Aufgrund der nichtlinearen Federkennlinie der einen oder beider Federn wird einerseits gewährleistet, daß der Anker mit großen Kräften beschleunigt wird, was eine hohe Schaltfrequenz zur Folge hat, andererseits erreicht man dadurch, daß in den Endpositionen des Ankers geringe Kräfte wirken, so daß auch der Energiebedarf des Aktuators zum Festhalten des Ankers in seinen Endpositionen gering ist.  
25

Zur Justierung dieses elektromagnetischen Aktuators wird für jede Feder der Verlauf der Federkraft gemessen, der sich ergibt, wenn die jeweilige Feder um einen dem  
30 Hubweg des Ankers entsprechenden Federweg komprimiert wird. Aus den gemessenen Verläufen der Federkräfte wird die Energie ermittelt, die aufgrund der Komprimierung der jeweiligen Feder in dieser gespeichert wird. Anschließend wird die

Vorspannung einer oder beider Federn derart eingestellt, daß in beiden Federn die gleiche Energie gespeichert wird.

Die Justierung des Aktuators kann während der Herstellung des Aktuators erfolgen, denkbar ist aber auch eine Justierung während des Betriebs, um Änderungen von Betriebsgrößen, wie sie beispielsweise aufgrund von Temperatureffekten, Abnutzung oder Alterung auftreten können, zu kompensieren.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Figuren näher beschrieben. Es zeigen:

- Figur 1        einen elektromagnetischen Aktuator zur Betätigung eines Gaswechselventils in einer Brennkraftmaschine,
- Figur 2        ein erstes Kraft-Weg-Diagramm mit Federkennlinien,
- Figur 3        ein zweites Kraft-Weg-Diagramm mit Federkennlinien.

Gemäß der Figur 1 umfaßt der erfindungsgemäße Aktuator einen mit einem Gaswechselventil 5 in Kraftwirkung stehenden Stößel 4, einen mit dem Stößel 4 quer zur Stößel-Längsachse befestigten Anker 1, einen als Schließmagnet wirkenden Elektromagneten 3 sowie einen als Öffnungsmagnet wirkenden weiteren Elektromagneten 2, der vom Schließmagnet 3 Richtung der Stößel-Längsachse beabstandet angeordnet ist. Die Elektromagnete 2, 3 weisen jeweils eine Erregerspule 20 bzw. 30 und einander gegenüberliegende Polflächen auf. Durch abwechselnde Bestromung der beiden Elektromagnete 2, 3, d. h. der Erregerspulen 20 bzw. 30, wird der Anker 1 entlang eines durch die Elektromagnete 2, 3 begrenzten Hubweges zwischen den Elektromagneten 2, 3 hin- und herbewegt. Eine Federanordnung mit einer in Öffnungsrichtung auf den Anker 1 wirkenden ersten Feder 61 und einer in Schließrichtung auf den Anker 1 wirkenden zweiten Feder 62 bewirken, daß der Anker 1 im stromlosen Zustand der Erregerspulen 20, 30 in einer Gleichgewichtslage zwischen den Elektromagneten 2, 3 festgehalten wird. Ferner sind Stellmittel 71, 72 zur Einstellung der Vorspannungen der Federn 61, 62 vorgesehen. Die Stellmittel 71, 72 können beispielsweise als Scheiben ausgeführt sein, die eine Komprimierung der Federn 71, 72 bewirken und somit die Vorspannung der jeweiligen Feder 71, 72

vorgeben. Sie können aber auch steuerbar ausgeführt sein und eine stufenlose Variation der Vorspannung ermöglichen.

5 Zum Starten des Aktuators wird einer der Elektromagnete 2, 3 durch Anlegen einer Erregerspannung an die entsprechende Erregerspule 20 bzw. 30 bestromt, d. h. eingeschaltet, oder es wird eine Anschwingroutine initiiert, durch die der Anker 1 zunächst durch wechselweises Bestromen der Elektromagnete 2, 3 in Schwingung versetzt wird, um nach einer Einschwingzeit auf die Polfläche des Schließmagneten 2 oder die Polfläche des Öffnungsmagneten 3 aufzutreffen.

10 Bei geschlossenem Gaswechselventil 5 liegt der Anker 1 wie in Figur 1 gezeigt an der Polfläche des Schließmagneten 3 an und er wird solange in dieser Position – der oberen Endposition – festgehalten, solange der Schließmagnet 3 bestromt wird. Um das Gaswechselventil 5 zu öffnen wird der Schließmagnet 3 abgeschaltet und anschließend der Öffnungsmagnet 2 eingeschaltet. Die in Öffnungsrichtung wirkende erste Feder 61 beschleunigt den Anker 1 über die Ruhelage hinaus. Durch den nun  
15 bestromten Öffnungsmagneten 2 wird dem Anker 1 zusätzlich kinetische Energie zugeführt, so daß dieser trotz etwaiger Reibungsverluste die Polfläche des Öffnungsmagneten 2 erreicht und dort – an der unteren Endposition, diese ist in der Figur 1 gestrichelt angedeutet – bis zur Abschaltung des Öffnungsmagneten 2 festgehalten wird. Zum erneuten Schließen des Gaswechselventils 5 wird der Öffnungsmagnet 2 ausgeschaltet und der Schließmagnet 3 anschließend wieder eingeschaltet. Der Anker 1 wird somit durch die zweite Feder 62 zum Schließmagneten 3  
20 bewegt und wird dort an dessen Polfläche festgehalten.

25 Der Hubweg  $l_m$  des Ankers 1, den der Anker 1 durchläuft – die Bewegung des Ankers 1 wird im folgenden als Flug bezeichnet –, ist aufgrund des vorgegebenen den Abstands zwischen Elektromagneten 2, 3 begrenzt. Die Verläufe der Federkräfte der beiden Federn 61, 62, d. h. der Kräfte, mit denen die Federn 61, 62 auf den Anker 1 wirken, sind von der Ankerposition  $l$  abhängig und lassen sich anhand von Federkennlinien beschreiben. Im Kraft-Weg-Diagramm aus Figur 2 ist die Federkennlinie der ersten Feder 61 mit  $F_1$  bezeichnet und die Federkennlinie der zweiten Feder 62 mit  $F_2$  bezeichnet. Beim Flug des Ankers 1 von der oberen Endposition zur unteren  
30 Endposition, d. h. von der Ankerposition 0 zu der Ankerposition  $l_m$ , steigt die Kraft der ersten Feder 61 von einem Haltewert  $F_{11}$  zunächst auf einen Maximalwert  $F_{13}$  an, der bei der Ankerposition  $l_x$  erreicht wird, um anschließend auf einen unter dem

Haltewert  $F_{11}$  liegenden Endwert  $F_{10}$  abzufallen, der bei der Ankerposition  $l_m$ , d. h. bei am Öffnungsmagneten 2 anliegenden Anker 1, erreicht wird. Die Federkraft der zweiten Feder 62 steigt hingegen von einem in der oberen Endposition des Ankers 1 wirkenden Endwert  $F_{20}$  monoton aber nichtlinear auf einen Haltewert  $F_{21}$  an, der in der unteren Endposition des Ankers 1 erreicht wird. Die Endwerte  $F_{10}$ ,  $F_{20}$  geben die Vorspannung der jeweiligen Feder 61 bzw. 62 an; sie sind derart eingestellt, daß die Fläche  $A_1$  unter der Federkennlinie  $F_1$  gleich der Fläche  $A_2$  unter der Federkennlinie  $F_2$  ist. Die Flächen  $A_1$  und  $A_2$  entsprechen dabei der Energie, die in der jeweiligen Feder 61, 62 gespeichert wird, wenn diese aufgrund der Ankerbewegung komprimiert wird. Die beiden Federkennlinien 61, 62 schneiden sich in einem Punkt, der die energetische Mittellage  $l_e$  des Ankers 1 vorgibt; diese energetische Mittellage  $l_e$ , die der Anker 1 bei stromlosen Elektromagneten 2, 3 einnimmt, stimmt bei Federn mit unterschiedlichen Federkennlinien im allgemeinen nicht mit der geometrischen Mittellage zwischen den Elektromagneten 2, 3 überein.

Der wesentliche Vorteil der ersten Feder 61 liegt darin, daß sie einerseits aufgrund des Maximalwertes  $F_{13}$  ihrer Federkennlinie  $F_1$  in der Lage ist, trotz des geringen Haltewertes  $F_{11}$  soviel Energie zu speichern, daß der Anker 1 beim Entspannen der ersten Feder 61 mit hoher Geschwindigkeit bewegt wird, was zu kurzen Schaltzeiten führt. Aufgrund des geringen Haltewertes  $F_{11}$  ist andererseits der Strombedarf zum Festhalten des Ankers 1 in seiner oberen Endposition und somit der Energiebedarf des Aktuators gering.

Beim Kraft-Weg-Diagramm gemäß Figur 3 weist die Federkennlinie  $F_2$  der zweiten Feder 62 mit zunehmendem Abstand  $l$  zwischen Anker 1 und Schließmagnet 2 zunächst einen abnehmenden Verlauf, dann einen steigenden Verlauf und anschließend wieder einen abnehmenden Verlauf auf. Die Flächen  $A_1$ ,  $A_2$  unter den Federkennlinien  $F_1$ ,  $F_2$  der Federn 61, 62 sind wiederum gleich groß. Bei diesen Federkennlinien  $F_1$ ,  $F_2$  erweist es sich als vorteilhaft, daß die Differenz  $\Delta F$  zwischen den beiden Federkennlinien  $F_1$ ,  $F_2$ , d. h. die auf den Anker 1 wirkende resultierende Kraft, für einen großen Bereich des Abstands  $l$  zwischen dem Anker 1 und Schließmagnet 3 groß ist. Infolgedessen läßt sich das Gaswechselventil 5 auch gegen einen Brennrauminnendruck öffnen, d. h. der Energiebedarf des Öffnungsmagneten 2 ist aufgrund der während des Öffnungsvorgangs wirkenden hohen resultierenden Kraft  $\Delta F$  gering.

- Die Justierung des Aktuators erfolgt vor dem Einbau des Aktuators in die Brennkraftmaschine. Dabei wird zunächst die Vorspannung der zweiten Feder 62 auf den Endwert  $F_{20}$  eingestellt, bei dem ein sicheres Schließen des Gaswechselventils 5 gewährleistet wird. Anschließend wird die zweite Feder 62 um den dem Hubweg Im des Ankers 1 entsprechenden Federweg komprimiert und der Verlauf der Federkraft, der sich dabei ergibt, abschnittsweise gemessen und abschnittsweise über den Federweg integriert. Das Ergebnis dieser Integration entspricht der Energie, die hierbei in der zweiten Feder 62 gespeichert wird. Die Messung der Federkraft kann dabei mittels einer Kraftmeßdose oder einer Meßuhr erfolgen.
- 10 In gleicher Weise wird auch die Energie ermittelt, die in der ersten Feder 61 gespeichert wird, wenn der Anker 1 von seiner unteren Endposition in seine obere Endposition bewegt wird, nämlich durch Messung des sich aufgrund der Ankerbewegung ergebenden Verlaufs der Federkraft der ersten Feder 61 und durch Integration dieses Verlaufs über den Federweg, um den die erste Feder 61 hierbei komprimiert wird. Anschließend werden die so ermittelten Energiewerte miteinander verglichen und die Vorspannung der ersten Feder 61 derart eingestellt, daß in den beiden Federn 61, 62 die gleiche Energie gespeichert wird, wenn diese um den Hubweg Im komprimiert werden. Der Aktuator wird erst nach dieser Einstellung in die Brennkraftmaschine eingebaut.
- 20 Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird der Aktuator vor dessen Inbetriebnahme justiert. Denkbar sind jedoch auch eine Justierung während des Betriebs, und eine Nachjustierung in Abhängigkeit von Betriebsparametern. In diesem Fall sind die Stellmittel steuerbar ausgeführt und die Verläufe der Federkräfte werden mit Meßmitteln, auf die die Federn wirken, beispielsweise mit Drucksensoren, insbesondere mit Piezzokristallen, gemessen. Die Stellmittel werden dann in Abhängigkeit der gemessenen Federkräfte durch Steuermittel derart gesteuert, daß bei der während des Betriebs maximal möglichen Komprimierung der Federn 61, 62 in beiden Federn die gleiche Energie gespeichert wird.
- 25

Patentansprüche

- 5 1. Elektromagnetischer Aktuator mit zwei im Abstand zueinander angeordneten Elektromagneten und einem gegen die Kraft zweier gegeneinander wirkender Federn (61, 62) zwischen den Elektromagneten (2, 3) entlang eines Hubwegs (lm) hin- und herbewegbaren Anker (1), dadurch gekennzeichnet, daß die Federn (61, 62) derart vorgespannt sind, daß bei einer durch den Hubweg (lm) des Ankers (1) vorgegebenen Komprimierung der Federn (61, 62) in beiden Federn (61, 62) die gleiche Energie (A1, A2) gespeichert wird.
- 10 2. Elektromagnetischer Aktuator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Federn (61, 62) eine nichtlineare Federkennlinie (F1) aufweist.
3. Elektromagnetischer Aktuator nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Federkennlinie (F1) mindestens einer der Federn (61, 62) einen Maximalwert (F13) bei einer von den beiden Elektromagneten (2, 3) beabstandeten Position (lx) des Ankers (1) aufweist.
- 15 4. Elektromagnetischer Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß Stellmittel (71, 72) zur Einstellung der Vorspannung der Federn (61, 62) vorgesehen sind.
- 20 5. Elektromagnetischer Aktuator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß Meßmittel zum Messen der Verläufe der Federkräfte der Federn (61, 62) vorgesehen sind.
6. Elektromagnetischer Aktuator nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß Steuermittel zum Ansteuern der Stellmittel nach Maßgabe der gemessenen Verläufe
- 25 der Federkräfte vorgesehen sind.
7. Verfahren zur Justierung eines elektromagnetischen Aktuators mit zwei im Abstand zueinander angeordneten Elektromagneten (2, 3) und einem entlang eines



Hubwegs gegen die Kraft zweier gegeneinander wirkender Federn (61, 62) zwischen den Elektromagneten (2, 3) hin- und herbewegbaren Anker (1), dadurch gekennzeichnet, daß für jede Feder (61, 62) der Verlauf (F1, F2) der Federkraft gemessen wird, der sich ergibt, wenn die jeweilige Feder (61, 62) um einen dem Hubweg (Im) des Ankers (1) entsprechenden Federweg komprimiert wird, daß anhand der gemessenen Verläufe (F1, F2) der Federkräfte die Energie (A1, A2) ermittelt wird, die aufgrund der Komprimierung der jeweiligen Feder (61, 62) in dieser gespeichert wird, und daß die Vorspannung (F10, F20) einer oder beider Federn (61, 62) derart eingestellt wird, daß in beiden Federn (61, 62) die gleiche Energie (A1, A2) gespeichert wird.

### Zusammenfassung

- 5 1. Elektromagnetischer Aktuator und Verfahren zur Justierung des elektromagnetischen Aktuators.
- 10 2.1 Ein bekannter elektromagnetischer Aktuator umfaßt zwei im Abstand zueinander angeordnete Elektromagnete, einen durch Magnetkraft zwischen den Elektromagneten gegen die Kraft zweier gegeneinander wirkender Federn hin- und herbewegbaren Anker sowie Stellmittel zur Einstellung der Ruhelage des Ankers auf die geometrische Mittellage zwischen den Elektromagneten. Der wesentliche Nachteil dieses Aktuators liegt in dem hohen Energiebedarf der Elektromagnete. Der neue Aktuator soll einen geringen Energiebedarf aufweisen.
- 15 2.2 Die Federn sind derart vorgespannt, daß bei einer durch den Hubweg des Ankers vorgegebenen maximalen Komprimierung der Federn in beiden Federn die gleiche Energie gespeichert wird.
- 2.3 Steuerung des Gaswechsels in einer Brennkraftmaschine.

1/2



